



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Klimalaboratoriet ved Aalborg Universitetscenter

Nielsen, Peter V.; Heiselberg, Per; Hyldgård, Carl-Erik; Steen-Thøde, Mogens

Publication date:
1986

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Nielsen, P. V., Heiselberg, P., Hyldgård, C-E., & Steen-Thøde, M. (1986). *Klimalaboratoriet ved Aalborg Universitetscenter*. (s. 1-12). Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

INSTITUTE OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING

AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

KLIMALABORATORIET VED AALBORG UNIVERSITETSCENTER

Peter V. Nielsen • Per Heiselberg • C. E. Hyldgård • Mogens Steen-Thøde

KLIMALABORATORIET VED AALBORG UNIVERSITETSCENTER

Artiklen gennemgår klimalaboratoriet ved Instituttet for Bygningsteknik på Aalborg Universitetscenter. Artiklen giver eksempler på forskningsarbejde, der er udført på dette laboratorium, og nævner nogle igangværende projekter.

Instituttet for Bygningsteknik på Aalborg Universitetscenter har i en årrække varetaget forskning og undervisning i klimateknik i forbindelse med uddannelse af akademiingeniører og civilingeniører.

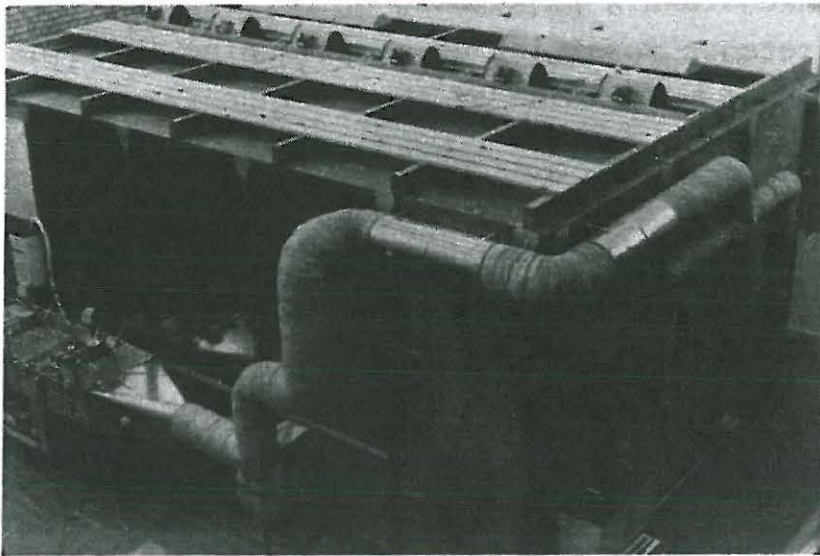
Instituttet - og klimagruppen - har sin oprindelse i Danmarks Ingeniørakademi. Ved oprettelsen af AUC blev Ingeniørakademiet indlemmet i Universitetet, og der blev opbygget et klimalaboratorium for gennemførelse af projekter, forskning og rekvirerede opgaver. Allerede fra starten blev der lagt vægt på, at dette laboratorium skulle håndtere ventilationstekniske problemer, og i dag er der faciliteter til undersøgelse af de fleste forhold omkring ventilationsteknik og bygningsdynamik som fx. luftfordeling i rum, test af komponenter i ventilationsanlæg og dynamisk temperaturfordeling i bygningsdele. Klimagruppen vil fortsætte denne udvikling i de kommende år. Der er netop blevet udarbejdet en redegørelse for den langsigtede planlægning, hvor klimagruppen specielt vil koncentrere sig om de to indsatsområder:

- * Luftfordeling og forureningsfordeling i rum
- * Styringsstrategier og energiomsætning i bygninger

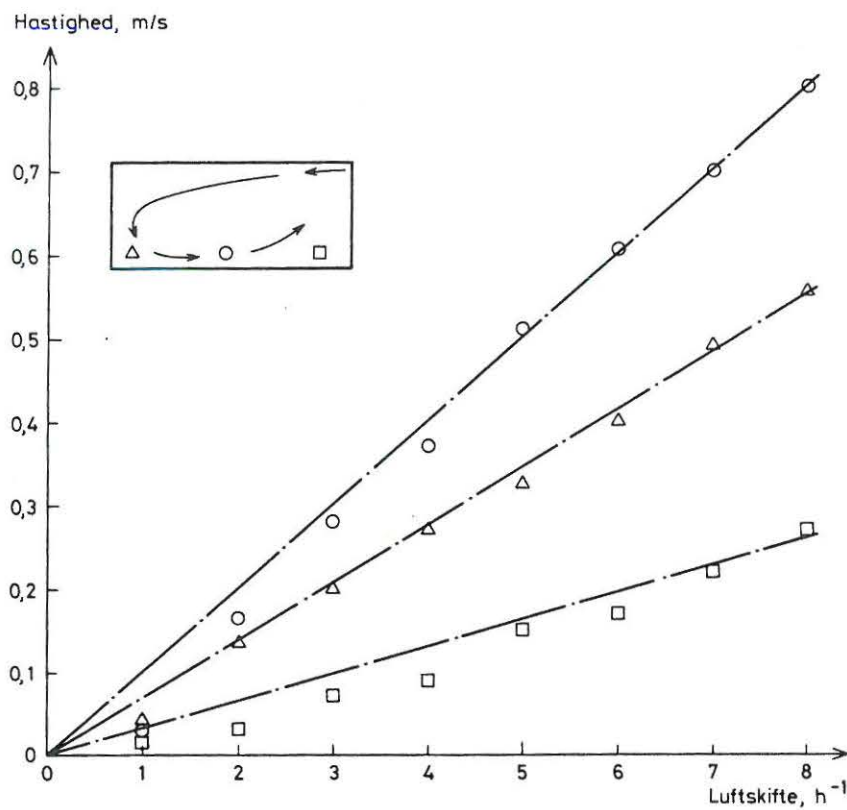
Der er fortsat behov for forskning om luftfordeling og forureningsfordeling i opholdslokaler og industrilokaler med det formål at fastlægge de systemer, der kombinerer optimal udnyttelse af energien med et godt termisk og atmosfærisk indeklima.

Viden om dynamisk energiomsætning i bygninger er et væsentligt element ved udvikling af nye bygningskonstruktioner, der er klimatilpassede, som fx. ved udnyttelse af passiv solvarme. Men det er især vigtigt at have en god forståelse for den dynamiske energiomsætning og de tilhørende styringsstrategier ved anvendelsen af CTS-anlæg og andre elektroniske styringssystemer, og netop disse områder vil i de kommende år være i stor vækst.

Artiklen vil i det følgende gennemgå det laboratorieudstyr, der i dag er til rådighed for projektudførelse, forskning og rekvirerede opgaver.



Figur 1. Klimarum i kontorstørrelse og tilhørende klimaaggregat.



Figur 2. Lufthastighed i opholdszonen som funktion af luftskiftet ved indblæsning gennem to dyser ($\varnothing 0.075$ m) ved den ene endevæg.

Klimarum

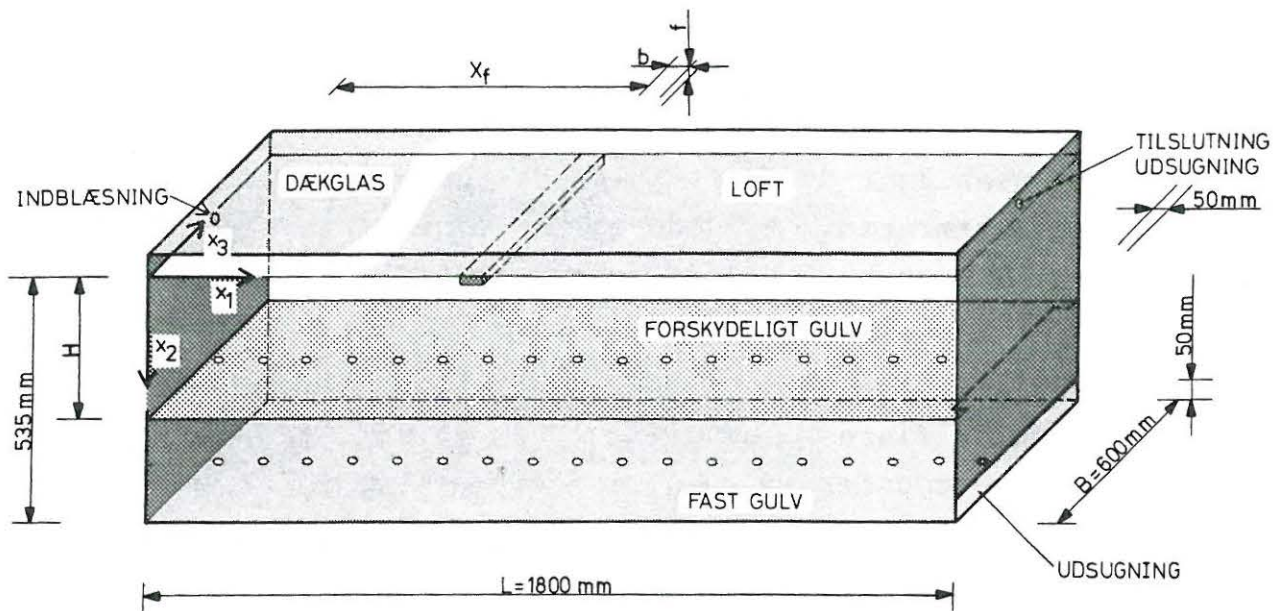
Klimarummet på AUC er opbygget af et træskelet med vægge, gulv og loft af krydsfinér. Adgangen sker gennem to døre i hver sit hjørne. Overvågning af igangværende forsøg kan ske gennem tre vinduer i kammerets ene sidevæg og gennem et vindue i den ene endevæg. Rummet har kontorstørrelse med dimensionerne $L \times B \times H = 5,4 \times 3,6 \times 2,4$ m, se figur 1.

Der er tilsluttet et ventilationsanlæg til klimarummet. Da der kan anvendes flere tilslutninger til klimarummet, er der mulighed for at udføre forsøg med forskellige indblæsnings- og udsugningsarmaturer samt forsøg med forskellig indbyrdes placering af indblæsning og udsugning. Anlæggets kapacitet er ca. $475 \text{ m}^3/\text{h}$ svarende til et nominelt luftskifte på 10 h^{-1} .

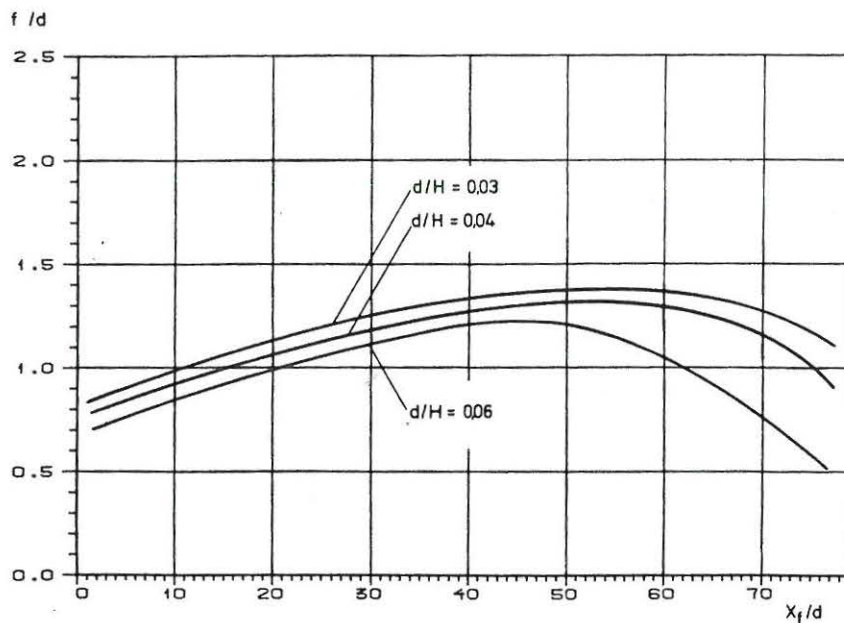
Det klimaaggregat, der er tilsluttet klimarummet, består af absolutfilter, forvarmeplade, køleplade, dampbefugter og eftervarmeplade i nævnte rækkefølge. Ventilationsluftens temperatur og relative fugtighed kan ved passage af klimaaggregatet varieres således, at der kan foretages undersøgelser med såvel oversom undertemperatur i indblæsningen. Klimarummet er tillige velegnet til undersøgelser ved isotermiske tilstande på grund af laboratoriets meget konstante klima.

Klimarummet har ofte i forbindelse med projekter dannet rammen om hastighedsmålinger i opholdszonen under forskellige ventilationstekniske forhold.

Laboratoriet råder over hastighedsmåleudstyr til samtidig måling og registrering af lufthastigheden i op til 18 vilkårligt placerede punkter. Det er derfor relativt let at måle, hvilke lufthastigheder et indblæsningsarmatur vil forårsage i rummet som funktion af f.eks. luftskifte, geometri eller indblæsnings-temperatur. Eksempelvis er hastigheden ved gulv som funktion af luftskiftet ved isotermisk indblæsning gennem to dyser ved loft illustreret på figur 2. Resultatet tyder på en lineær sammenhæng mellem luftskifte og hastighed i opholdszonen. Dette resultat er typisk for isotermisk højturbulent strømning, og en nærmere bearbejdning af målinger for forskellige dysestørrelser viser, at lufthastigheden i opholdszonen er proportional med kvadratroden af bevægelsesmængdestrømmen fra ind-



Figur 3. Strømningsmodel til undersøgelse af isoterme strømningsforhold i forskellige geometrier.



Figur 4. Diagrammet bestemmer den kritiske bjælkehøjde (f) og bjælkeplacering (x_f), hvor der netop ikke forekommer nedfald (afbøjning af strålen ned i opholdszonen). ($d \sim$ diameter af indblæsningsdyse, $H \sim$ højde af lokale).

blæsningsdyserne, et resultat der også er bekræftet ved målinger i andre klimarum /1/.

I den kommende tid vil der blive arbejdet med sporgasforsøg i klimarummet for bl.a. at fastlægge indblæsningsarmaturets betydning for koncentrationsfordeling, ventilationseffektivitet og luftudskiftningseffektivitet.

Strømningsmodel

Udførelse af strømningsundersøgelser kan også ske i form af modelforsøg i laboratoriets strømningsmodel. Strømningsmodellen har dimensionerne $L \times B \times H = 1,80 \times 0,60 \times 0,54$ m, se figur 3.

Modellen kan forsynes med et forskydeligt gulv og/eller en forskydelig endevæg. Derved kan undersøgelser foretages ved utallige rumdimensioner og længdeforhold.

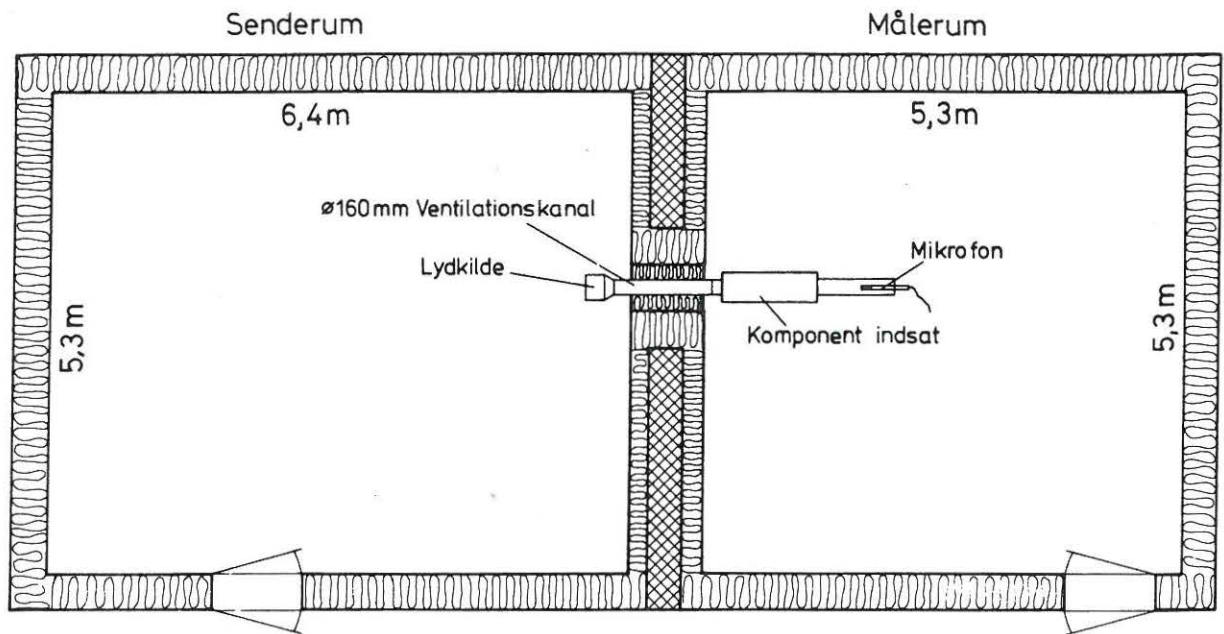
Modellen anvendes især til klarlæggelse af mere generelle strømningsstekniske problemstillinger såsom indblæsningsstrålers afbøjning, indtrængningsdybde, betydning af lokale geometri m.m.

Figur 4 giver hovedkonklusionen af en undersøgelse i strømningsmodellen om loftbjælkers afbøjning af ventilationsstråler fra en cirkulær indblæsningsdyse. Figuren viser bl.a., hvorledes den kritiske bjælkestørrelse f i begyndelsen vokser med afstanden fra indblæsningsåbningen. Det er også, hvad man må forvente, fordi tværsnittet af en luftstråle vokser med afstanden fra armaturet og derfor får lettere ved at passere en forhindring. Længere nede i lokalet bliver den kritiske højde dog mindre, hvilket må tilskrives lokale højdens betydning. Supplerende undersøgelser i et større laboratorielokale har da også bekræftet dette.

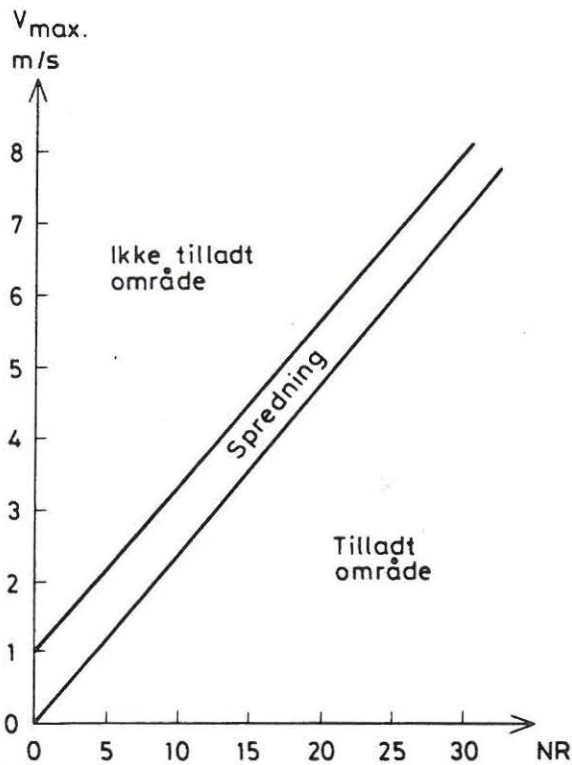
I den kommende tid vil klimagruppen fortsætte disse undersøgelser for forskellige indblæsningsarmaturer.

Lydlaboratoriet

Instituttets lydlaboratorium omfatter måleudstyr, der er tilstrækkeligt til bygningsakustiske målinger. Hertil kommer, at der er indrettet lydmålerum, som er lydmæssigt isoleret fra



Figur 5. Lydmålerum. Et eksempel på måling af indsætningsdæmpning er indtegnet.



Figur 6. Tilladelige hastigheder V_{\max} i kanalnet og indblæsnings- eller udsugningsåbninger i afhængighed af det tilladte støjniveau i et normalt dæmpet rum. (NR = Noise Rating).

bygningen, de ligger i. Rummene, et senderum og et målerum med passage imellem, er halvhårde rum hver med et rumvolumen på ca. 60 m^3 , se figur 5. De er ikke egnede til indretning af lyd-døde rum, men de er bl.a. velegnede til undersøgelse af støj i ventilationsanlæg.

I reference /2/ er redegjort for målinger af en række ventilationskomponenters støjdæmpning og støjgenerering, og for udviklingen af en ny støjdæmper, som er særlig effektiv ved de lave frekvenser, hvor støj normalt er vanskelig at dæmpe.

Målingerne i lydrummet viser, at der findes en nogenlunde lineær sammenhæng mellem genereret strømningsstøj i indblæsnings- og udsugningsåbninger, eller for så vidt i ventilationskomponenter i det hele taget, og de maksimale lufthastigheder, der forekommer i komponenten. Strømningsstøjen optræder normalt i oktavbåndene 1000 og 2000 Hz. På figur 6 ses en oversigt over tilladelige maksimale hastigheder i afhængighed af det tilladelige støjniveau i rummet. Spredningsområdet er udtryk for, at i komponenter med pænt strømningsforløb, d.v.s. afrundede hjørner m.v., kan der tillades højere hastigheder end i komponenter med voldsomme retnings- og hastighedsændringer af luftstrømmen.

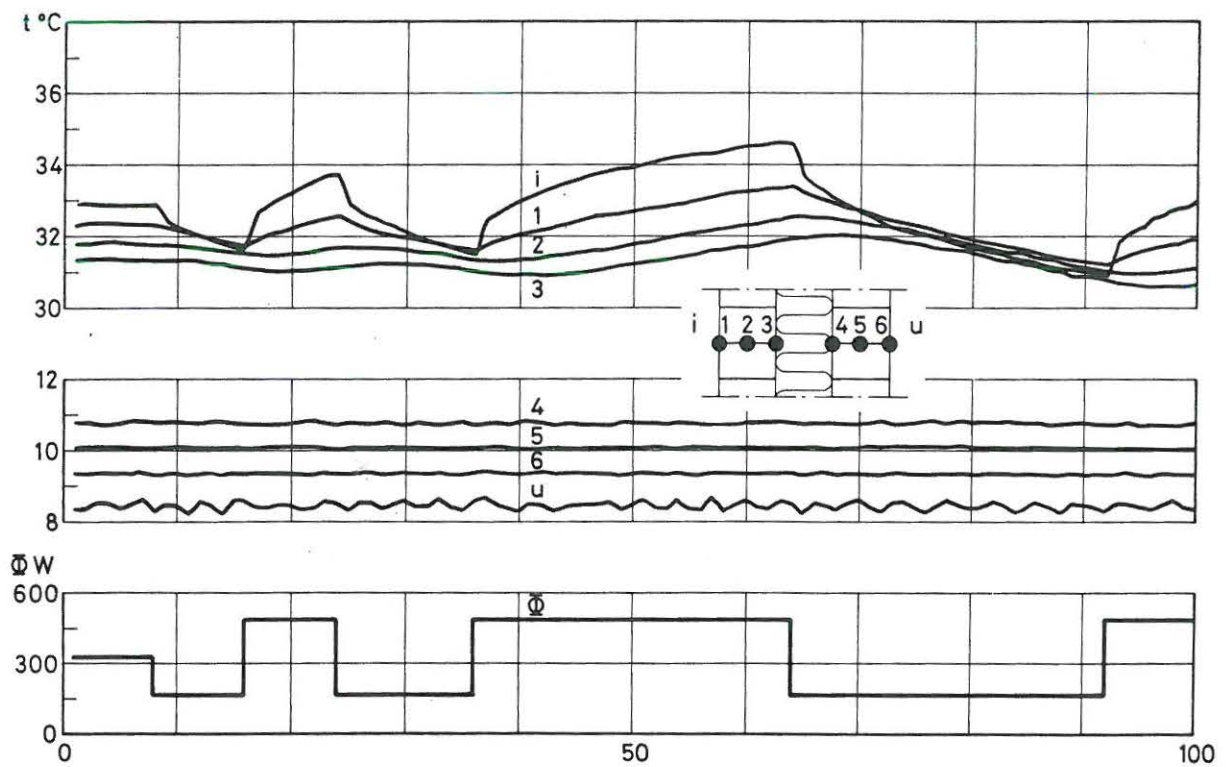
Det fremgår af figuren, at i rum med strenge støjkrav kan disse meget vel være dimensionerende for anemostater m.v.

Dynamisk forsøgsrum

Til forsøg med dynamiske temperaturforhold i bygninger er der i laboratoriehallen opbygget et ca. 15 m^2 stort forsøgsrum med vægge, gulv og loft udført af lette træskeletkonstruktioner med 100 mm mineraluldsisolering, se figur 7. Indvendigt er rummet delt i to af en 320 mm hul teglstensvæg isoleret med 100 mm mineraluld og forsynet med et vindue med to lag glas. I hvert af de to rum kan temperaturen styres individuelt, således at der f.eks. kan etableres et varmt "inderum" og et koldt "ude-rum", hvorved teglstensvæggen kan opfattes som en ydervæg og temperaturen i det kolde rum som udetemperaturen.



Figur 7. Det dynamiske forsøgsrum. På billedet ses den ene endevæg af det 15 m² store rum.



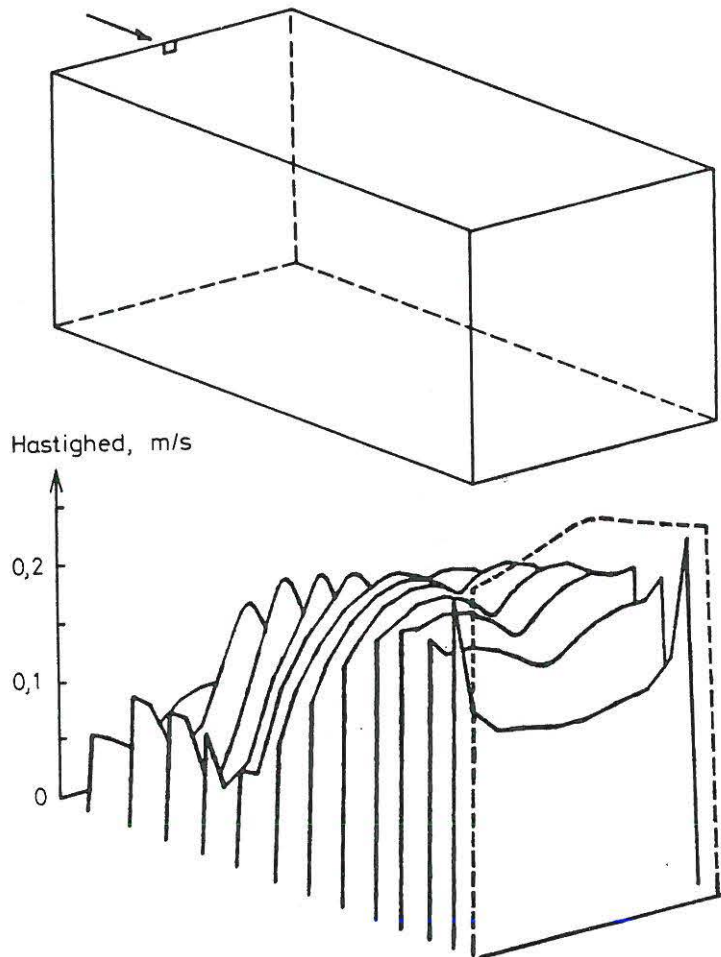
Figur 8. Figuren viser forløbet af lufttemperaturen samt temperaturerne gennem "ydermuren" ved varierende varmebelastning i prøverummet. Måleintervallet er 15 min., der er benyttet som enhed på den vandrette tidsakse.

I teglstensvæggen er der indmuret 42 termoelementer i 7 snit gennem væggen. Dette muliggør f.eks. måling af temperaturer i væggen ved flerdimensionale varmestrømme under stationære forhold eller måling af dynamiske temperaturforløb, når de to rum udsættes for varierende termiske belastninger. Den tunge væg kan efter behov udskiftes med andre konstruktioner.

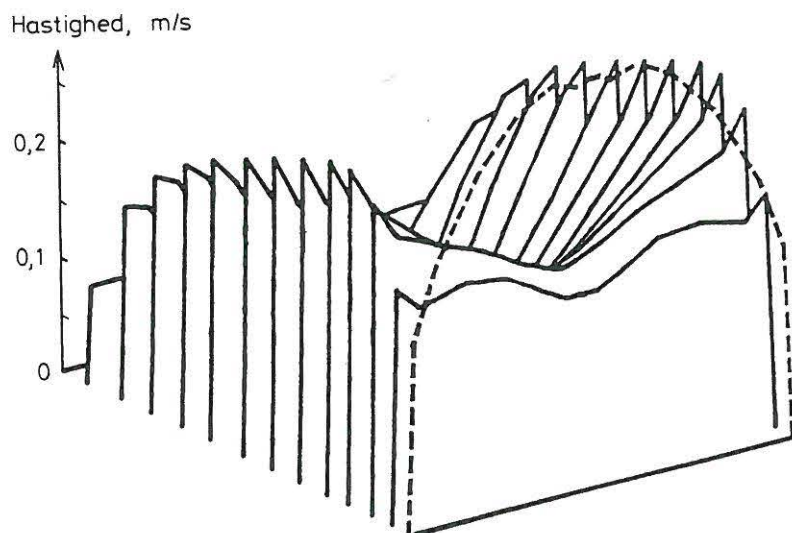
I klimagruppens forskning inden for området modeller og styringsstrategier for energiomsætning i bygninger indgår bl.a. edb-simulering af temperaturforløb i bygningers rum som et vigtigt led. I denne forbindelse er der foretaget en række målinger af temperaturforløbet i forsøgsrummet ved varierende belastningsforhold med det formål at verificere forskellige beregningsmodeller, f.eks. den model der ligger til grund for edb-programmerne TEMPFO4 og *tsbi*.

Figur 8 viser en udskrift fra en af disse målinger. Her ses forløbet af rumlufttemperaturen samt temperaturerne i et snit tværs gennem teglstensvæggen i et tilfælde, hvor den interne varmetilførsel varieres (der foretages ingen regulering af temperaturen i det varme rum under denne måling).

Når f.eks. rumtemperatures forløb kendes ved den givne belastningsvariation, kan der regnes baglæns og bestemmes et ligningsudtryk (en differensligning), der bedst muligt gengiver denne sammenhæng. På denne måde findes en eksperimentel model, der kan sammenlignes med en teoretisk udledt model. Den beregningsteknik, der anvendes til bestemmelse af den eksperimentelle model, er den samme som anvendes i visse adaptive (selvlærende) regulatorer, hvor en microprocessor foretager en løbende opdatering af regulatorparametrene efter en identifikation af procesmodellen. En teknik, der også kan anvendes i CTS-anlæg i forbindelse med energistyringsprogrammer. Som et kendt eksempel kan nævnes optimal opstart af varmeanlæg efter natsækning, hvor genopvarmningstiden (starttidspunktet) kan bestemmes af en model, hvori indgår virkningen af bygningens varmeakkumulerende egenskaber, udetemperaturen og den opvarmnings-effekt, der er til rådighed.



Figur 9. Øverst en skitse af lokalet og nederst et diagram, der viser lufthastigheden i lokalets opholdszone. Lokalets bredde er lig med højden. Indblæsningshastigheden er 5 m/s.



Figur 10. Lufthastighedens fordeling i opholdszonen. Lokalet har den dobbelte bredde af lokalet på fig. 9, og indblæsningshastigheden er 5 m/s.

Simuleringsprogram for beregning af luftfordeling

Klimagruppen har adgang til simuleringsprogrammer, der kan beregne temperatur og hastighedsfordeling i et ventileret rum. Rumgeometri, termiske kilder og indblæsningsarmaturer beskrives i programmet. Strømningen bestemmes ved at dele lokalets volumen op i et antal punkter omkring hvilke værdier som hastighed, temperatur, tryk, turbulens m.m. betragtes som konstante. Derefter opstilles de differensligninger, der forbinder værdierne i de enkelte punkter, og disse ligninger løses ved iteration, se f.eks. reference /3/ og /4/.

Figur 9 viser et eksempel på beregning af strømning i et lokale, hvor lokalehøjden er lig med lokalebredden. Den øverste skitse viser lokalet med indblæsningsåbningen placeret tæt op under loftfladen.

Det er ret let at fastlægge, hvorledes den indblæste stråle udvikler sig hen under loftfladen, men når strålen afbøjes af væggen over for åbningen og fortsætter tilbage i den nederste del af lokalet, får den en meget kompliceret struktur. Den nederste skitse på figuren viser en beregnet fordeling af luft-hastigheden i opholdszonen. Højderne i diagrammet angiver den maksimale hastighed, der findes i de pågældende områder. Hastigheden i opholdszonen er bestemt ved en indblæsningshastighed på 5 m/s, og det ses, at den er næsten 0,3 m/s ved væggen over for indblæsningen, medens den er faldet til nogle få centimeter pr. sekund i modsatte ende under indblæsningen.

Figur 10 viser fordelingen og lufthastigheden i et lokale med en bredde, der er dobbelt så stor som lokalehøjden. Der er anvendt samme indblæsningsarmatur og samme lokalelængde i figur 9 og figur 10, og det ses, at ændringen i lokalegeometrien giver en radikal ændring i hastighedsfordelingen i opholdszonen. I det brede rum er hastighederne højst ude langs sidevæggene - et resultat som også er bekræftet ved modelforsøg på instituttet. Eksemplerne illustrerer vigtigheden af at betragte hele rumgeometrien, når man skal fastlægge den maksimale hastighed i opholdszonen.

Der vil i den kommende tid blive arbejdet på at udvikle programmer, der foruden hastigheds- og temperaturfordeling også beregner sporstoffordeling og ventilationseffektivitet.

Klimagruppens medarbejdere

Per Heiselberg, civilingeniør
L. Evensen, ingeniørdocent, civilingeniør
E.J. Funch, lektor, civilingeniør
C.E. Hyldgård, lektor, akademiingeniør
Peter V. Nielsen, professor, lic.techn.
Thomas Pedersen, lektor, ingeniør
M. Steen-Thøde, lektor, akademiingeniør

Litteratur

1. Nielsen, P.V.: Luftstrømning i ventilerede arbejdslokaler, SBI-rapport 128, 1981.
2. Hyldgård, C.E.: Støjfri små ventilationsanlæg, ISSN 0105-8185 R8603, Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter.
3. Nielsen, P.V., A. Restivo og J.H. Whitelaw: The velocity characteristics of ventilated rooms, Journal of Fluid Engineering, Transactions of the ASME, Sept. 1978.
4. Nielsen, P.V.: The distribution of air velocity in large rooms with small side-wall mounted supply openings, XV'th International Congress of Refrigeration, Venedig, 1979.